

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Teemu Tanskanen

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2015



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Kesäkuu 2015**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3,  
80200 Joensuu  
(013) 260600

Tekijä  
Teemu Tanskanen

Nimeke  
Aurinkosähköjärjestelmät

Toimeksiantaja  
Karelia-amk

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää sähkön tuottamista aurinkopaneeleilla, niiden liittämistä sähköverkkoon sekä tarkastella aurinkosähkön tulevaisuuden näkymiä. Työn lähtökohtana oli miettiä, mitä kaikkea tavallisen kuluttajan tulee ottaa huomioon harkitessaan aurinkosähköä energiantuottamiseen ja myös mahdollisesti aurinkosähkön myymistä.

Työssä selvitettiin teoria aurinkosähkön tuottamiseen, tarvittava laitteisto, suunnittelun pääpiirteet ja aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähköverkkoon sekä tarkasteltiin sähkön tuottamiseen liittyviä vaatimuksia. Aurinkosähkö on Suomessa ja maailmalla lisääntyvä energiatuotantomuoto, joten oli myös hyödyllistä selvittää, mitä uutta aurinkosähkömaailmaan on tullut innovaatioiden ja standardien muodossa.

Kieli  
suomi

Sivuja 29  
Liitteet  
Liitesivumäärä

**Asiasanat**

aurinkosähkö, aurinko, sähköntuottaminen, uusiutuva energia



**THESIS**  
**June 2015**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**  
Karjalankatu 3,  
80200 Joensuu  
+358 (013) 260600

Author (s)  
Teemu Tanskanen

Title  
Solar Power Systems

Commissioned by  
Karelia University of Applied Sciences

**Abstract**

The purpose of this thesis was to report how to produce electricity with a solar panel system, how to connect it to the electrical grid and to examine the future of solar energy. The objective of this thesis was to think about the things a consumer needs to consider if he wants to build a solar electricity system and maybe also to sell electricity.

The work presents the theoretical background of producing solar electricity, the equipment needed, the basics of planning a solar electricity system, and how to connect your system to the electric grid. The thesis also includes the requirements of connecting solar electric system to the electrical grid. Solar power systems are becoming a more common way to produce electricity in Finland and in the world. So finding out about new innovations and standards of the producing of solar electricity is helpful to the people who are thinking of buying a solar electricity system.

Language  
Finnish

Pages 29  
Appendices  
Pages of Appendices

**Keywords**

solar, solar power, energy production, renewable energy

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Aurinko energianlähteenä .....	5
2.1	Auringon säteily maapallolla .....	5
2.2	Auringon säteily Suomessa .....	7
3	Aurinkosähköjärjestelmät .....	7
3.1	Kennot .....	7
3.1.1	Yksikiteinen kenno .....	8
3.1.2	Monikiteinen kenno .....	8
3.1.3	Amorfinen kenno .....	8
3.2	Paneelit .....	9
3.3	Esimerkki aurinkopaneelin hyötysuhteen laskemisesta .....	10
3.4	Invertterit .....	11
3.5	Kaksisuuntainen mittari .....	13
4	Aurinkojärjestelmän suunnittelu .....	13
4.1	Paneelien sijoittaminen .....	13
4.2	Kaapelointi .....	14
5	Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähkönjakeluverkkoon .....	15
5.1	Tasasähköosan suojaus .....	17
5.2	Vaihtosähköosan suojaus .....	17
6	Standardit, lait ja määräykset .....	18
6.1	Luvat .....	19
6.2	Vaatimukset .....	20
6.3	RES-direktiivi .....	21
6.4	Aurinkosähköasentajan sertifiointi .....	22
7	Kannattavuus ja takaisinmaksuaika .....	22
8	Tulevaisuuden näkymät .....	23
8.1	Tulevaisuus Suomessa .....	24
8.2	Innovaatiot .....	25
9	Yhteenveto ja pohdinta .....	26
	Lähteet .....	28

## 1 Johdanto

Aurinkoenergia on kasvavissa määrin yleistyvää sähköenergian tuotantotapa maailmalla sekä myös Suomessa. Halventuneet investointikustannukset ja parantunut hyötysuhde ovat myös Suomen leveysasteilla saaneet auringon avulla tuotetun sähkön varteenotettavaksi energiantuotantotavaksi esimerkiksi kesämökeille tai lisäenergian tuotantotavaksi pientaloihin ja toimistorakennuksiin.

Aurinkoenergian yleistyminen Suomessa on johtanut tarpeeseen kehittää asentajille koulutusta ja sertifikaatti, millä turvallinen aurinkosähköjärjestelmien asentaminen olisi mahdollista.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään aurinkopaneeleihin ja niiden verkkoon kytkettävyyteen. Työssä paneudutaan komponentteihin, sähkönjakeluverkkoon liittyviin asioihin sekä standardeihin, lakeihin ja määräyksiin.

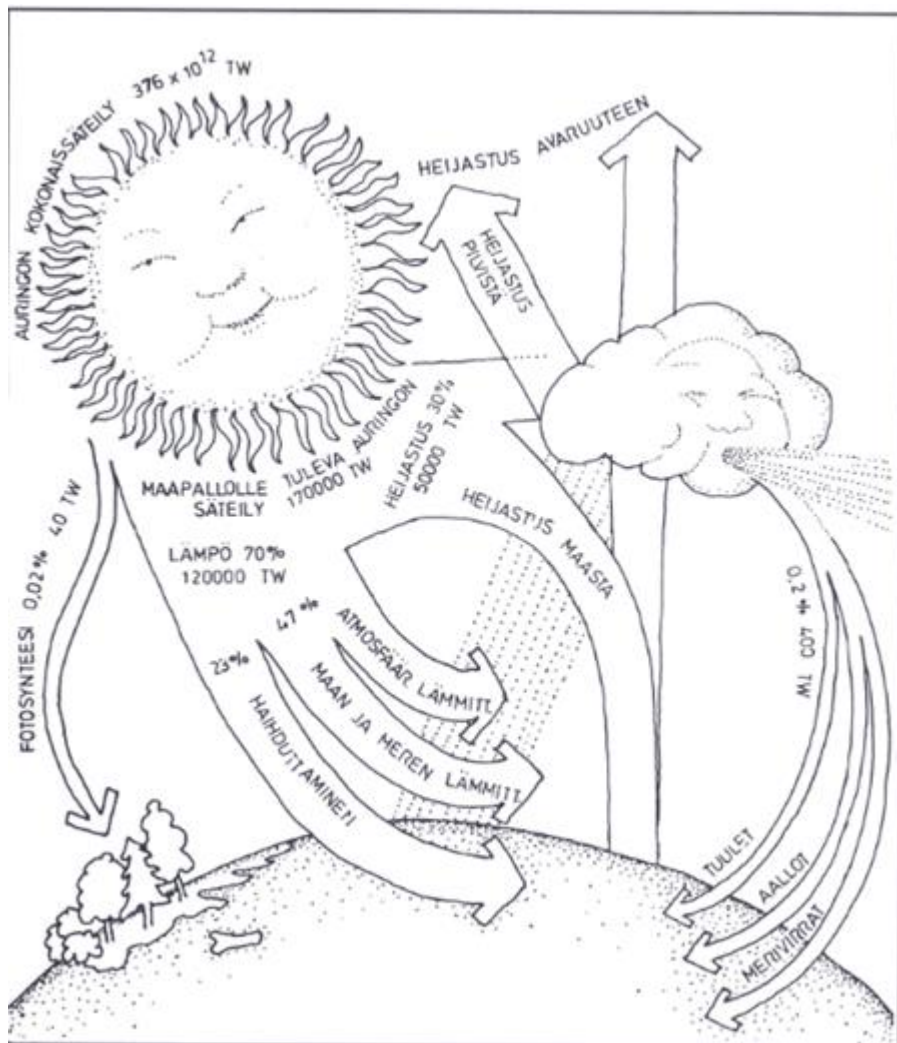
## 2 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on kaasupallo, joka muodostuu pääasiassa vedystä (75 %) sekä heliusta (23 %). Auringosta vapautuu säteilyenergiaa kemiallisen reaktion, fuusion, seurauksena. Fuusiossa kaksi vetyatomia ydintä, kaksi protonia ja kaksi neutronia yhtyy heliumatomiksi, jolloin vapautuu valtavia määriä energiaa. [1, s. 10.]

### 2.1 Auringon säteily maapallolla

Auringossa tapahtuvassa fuusiossa maapallolle säteilee valtavasti energiaa. Ilmakehän molekyylien, vesihöyryn, ilmansaasteiden sekä pölyn takia maapallon pinnalle säteilee kuitenkin vain pieni määrä säteiden koko tehosta,  $1,7 \cdot 10^{14}$  kW. Tämä energiamäärä vastaa noin 20 000 kertaa koko maapallon teollisuu-

den ja lämmityksen käyttämää tehoa. Aurinkopaneeli voi vastaanottaa aurinkoenergiaa erilaisista säteilylähteistä. Säteily voidaan jakaa kolmeen ryhmään: suoraan aurinkosäteilyyn, haja-aurinkosäteilyyn (eli diffuusiseen) sekä ilmakehän vastasäteilyyn. Suora aurinkosäteily on suoraan ilmakehän läpi tulevaa säteilyä. Hajasäteily on pilvistä, molekyyleistä sekä maan pinnasta heijastunutta säteilyä ja vastasäteilyllä tarkoitetaan maan pinnasta takaisin heijastuneita säteitä, joita ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni heijastavat uudelleen maan pinnalle. Vastasäteilyä kutsutaan myös yleisesti tunnetuksi kasvihuoneilmiöksi. [1, s. 10–12.]



Kuva 1. Auringon säteilyn määrä ja sen heijastuminen [1].

## 2.2 Auringon säteily Suomessa

Suomessa auringon säteily on vuodenajasta riippuen hyvin epätasaista johtuen pohjoisesta sijainnista maapallolla. Säteilyn määrä kuukausitasolla on suurinta touko–kesäkuussa, jolloin Etelä-Suomessa saadaan noin 160–170 kWh/m<sup>2</sup>, Keski-suomessa 150–160 kWh/m<sup>2</sup> ja Pohjois-Suomessa 140–150 kWh/m<sup>2</sup>. Vastaavat määrät tammi–helmikuussa sekä loka–joulukuussa ovat keskimäärin 30 kWh/m<sup>2</sup>. Etelä-Suomessa jokaiselle neliömetrille saadaan aurinkoenergiaa keskimäärin 1000 kWh vuodessa. Jos neliömetrin kokoisen aurinkopaneelin hyötysuhde olisi noin 17 %, saataisiin siitä energiaa vuodessa noin 170 kWh. [2.]

## 3 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmällä voidaan tuottaa tasasähköä tai vaihtosähköä 12–230 voltia. Tässä opinnäytetyössä perehdytään 230 V:n verkkoon liitettäviin järjestelmiin. Aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergia tuotetaan kytkemällä tarpeellinen määrä kennoja sarjaan, jolloin saadaan muodostettua tarvittava jännite esimerkiksi akun varaamiseen [1, s. 125].

### 3.1 Kennot

Aurinkosähkökennot ovat puolijohdekomponentteja, jotka tuottavat tasasähköä valosähköiseen ilmiöön perustuen lähes säteilytehonsa verran. Kenno koostuu kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, joiden sisäänrakennetut ominaisuudet eroavat toisistaan. Kerrokset erottaa toisistaan niin sanottu rajapinta, jolloin toiselle puolelle jää n-tyyppinen ja toiselle p-tyyppinen puolijohde. Kennon sisäinen sähkökenttä syntyy kerrosten yli, kun elektronit kasaantuvat ensin toiselle puolelle synnyttäen aukkoja vastapuolelle. Valo synnyttää puolijohdemateriaalissa elektroniaukko-pareja, jotka kennon sisäisen sähkökentän vaikutuksesta voidaan erottaa toisistaan ja käyttää tuottamaan virtaa ulkoiseen kuormaan. Auringonvalo irrottaa elektroneja ja metallijohtimiin saadaan sähkövirta. Auringon-

kosähkökennon koko on tavallisesti noin 10 cm x 10 cm ja paksuus 0,1–0,4 mm. Se tuottaa valaistuna noin 0,5 V:n tasajännitteen. Virtaa saadaan sekä säteilytehon että kennon pinta-alan mukaan. [1, s. 120.]

Aurinkokennon raaka-aineena käytetään nykyään kiteistä, monikiteistä tai amorfista piitä. Aurinkopaneelit ovat yksikiteisiä, monikiteisiä tai ohutkalvopaneeleja. Yksi- ja monikiteiset paneelit eroavat käytännössä hyvin vähän toisistaan. [1, s. 120.]

### **3.1.1 Yksikiteinen kenno**

Yksikiteisestä piistä valmistettu kenno on jo kauan ollut yleisin kennotyyppi. Kennot valmistetaan puhdistamalla ja jalostamalla luonnosta saatavaa piitä. Piikide kasvatetaan sauvamuotoon, joka sitten sahataan noin 0,35–0,45 mm paksuiksi kennoiksi. Yksikiteisessä (kide)rakenteessa atomit ovat tietyssä järjestyksessä. Yksikiteisestä piistä valmistettava kenno on kallis valmistaa, sillä prosessi on hidas ja vaatii tarkkaa työtä. [1, s. 124.]

### **3.1.2 Monikiteinen kenno**

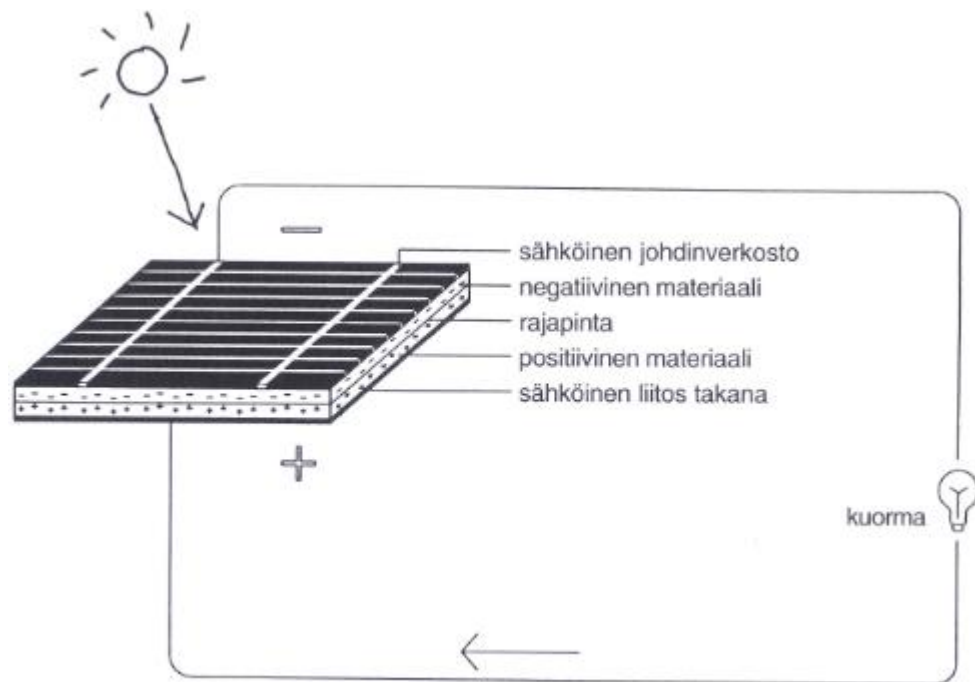
Monikiteiset kennot valmistetaan valamalla, jolloin niihin syntyy niin sanottu monikidemuoto. Monikiteisessä kennossa tekniset ominaisuudet ovat samanlaiset kuin yksikiteisessä kennossa, vaikkakin atomien paikka on kiteessä epämääräinen. Valmistustekniikan takia kennot ovat helpommin ja halvemmalla valmistettavissa. [1, s. 124.]

### **3.1.3 Amorfinen kenno**

Amorfisesta piistä valmistetaan ohutkalvokennoja, joissa atomit ovat täydellisessä epäjärjestyksessä. Kennot valmistetaan höyrystämällä, jolloin saavute-



taan vähän valoa absorboiva rakenne, jonka varjonsietokyky on parempi kuin kiteisten kennojen. Amorfiset kennot vaativat vähemmän piitä, mutta niiden hyötysuhde pinta-alaa kohti on pienempi. [1, s. 125.]



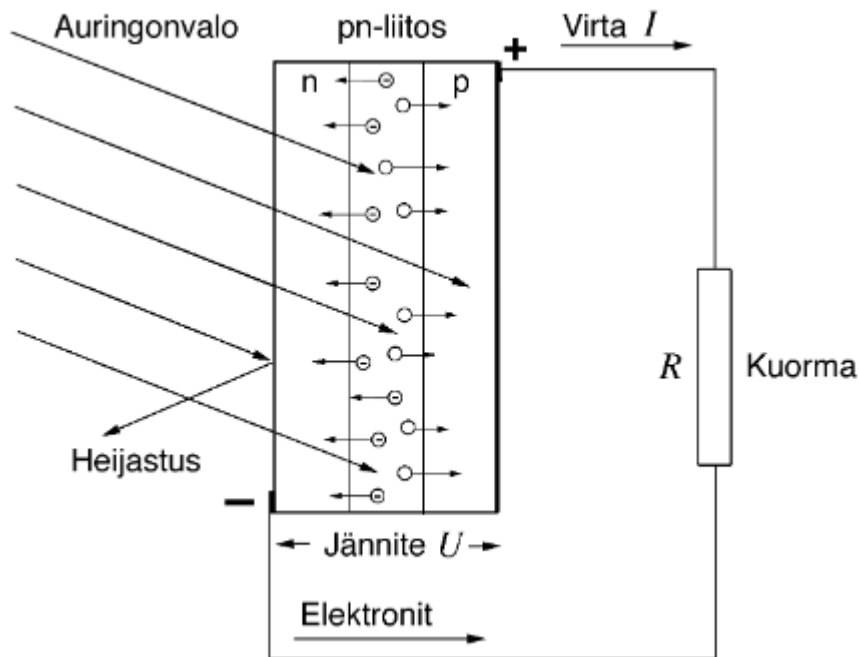
Kuva 2. Aurinkokennon rakenne [1, s. 121].

### 3.2 Paneelit

Aurinkopaneeli muodostuu sarjaan kytketyistä kennoista, niitä ympäröivästä alumiinikehikosta, kennoja suojaavasta lasista ja kapselointifolioista. Siihen kytetään myös kytkentärasiat. Kun aurinkosähköpaneeli yhdistetään kuormaan, kuten akkuun, syntyy sähkövirtapiiri. [1, s. 126.]

Nykypäivänä aurinkopaneelien hyötysuhde on laboratorio-olosuhteissa noin 20 %, mutta tavalliset kuluttajalle myytävät aurinkopaneelit ovat noin 10–14 % hyötysuhteen saavuttavia paneeleja. Kennojen ja paneelien hyötysuhde on yleensä eri, koska kennojen kytkemisessä tapahtuu hyötysuhdehäviöitä, jolloin paneelissa on yleensä 1–2 % huonompi hyötysuhde kuin paneelin kennoissa. Jotta auringon säteilyenergiasta saataisiin kuluttajalle tulevan sähköän todellinen hyötysuhde, tulee ottaa huomioon myös aurinkosähköjärjestelmän muut osat,

kuten johdotuksen ja akuston hyötysuhteet. Kaikkien osien hyötysuhteita yhdessä kutsutaan järjestelmän hyötysuhteeksi. [1, s. 125.]



Kuva 3. Aurinkopaneelin toimintaperiaate [4].



Kuva 4. Aurinkopaneelin Rakenne [15].

### 3.3 Esimerkki aurinkopaneelin hyötysuhteen laskemisesta

Otetaan esimerkissä käsittelyyn taulukossa 1 esitelty esimerkkipaneeli 1. Paneelin Virta ( $I$ ) on 7,5 A ja jännite ( $U$ ) 17,3 V jolloin sen teho ( $P$ ) on  $P = U \cdot I$ .  $P =$

$17,3 \text{ V} * 7,5 \text{ A} = 129,75 \text{ W} \approx 130 \text{ W}$ . Tilanteessa auringon säteilyintensiteetti ( $G$ ) on  $1000 \text{ W/m}^2$ . Paneeli on mitoiltaan  $1480 \text{ mm}$  pitkä ja  $670 \text{ mm}$  leveä. Tällöin sen pinta-ala ( $A$ ) on  $0,9916 \text{ m}^2$  eli noin  $1 \text{ m}^2$ . Tällöin hyötysuhteen voi laskea kaavalla 1:

$$\eta = \frac{P_{max}}{G * A} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{130 \text{ W}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1 \text{ m}^2}$$

$$\eta = 0,13$$

missä

$U$  = Jännite

$I$  = Virta

$P$  = Teho

$\eta$  = hyötysuhde

$P_{Max}$  = paneelin hyötysuhde

$G$  = säteilyteho

$A$  = pinta-ala

Paneelin hyötysuhde on näin ollen  $13 \%$ . Järjestelmästä saatava hyötysuhde jää kuitenkin hieman pienemmäksi muun muassa kaapelihäviöiden takia (1, s.125).

### 3.4 Invertterit

Aurinkosähköpaneeleja liitettäessä sähköverkkoon tai vaihtosähkölaitteisiin tuotettu tasasähkö on muutettava vaihtosähköksi. Tasasähköstä saadaan vaihtosähköä vaihtosähkösuuntaajan eli invertterin avulla: "Tasasähkösuuntaaja kytkee tasajännitettä ohjaussignaalin mukaan niin, että lähtöjännitteeksi saadaan taajuudeltaan ja aallonmuodoltaan haluttua vaihtosähköä. Kytkinelement-

tinä toimivat tehopuolijohdekomponentit ja ohjaussignaali otetaan joko syötettävästä sähköverkosta tai se tuotetaan vaihtosuuntaajan sisäisellä oskillaattorilla.” [1] Invertterin tasasähkökuorma voi olla 12 V, 24 V tai 48 V jännite ja se muutetaan 110 V tai 240 V vaihtosähköksi. Invertterin hyötysuhteeksi saadaan parhaimmillaan 80–90 % syötetystä sähköstä, kun kuorma on 25–100 % invertterin tehosta. Invertteristä saatu vaihtosähkö voidaan käyttää joko paikan päällä tai syöttää sähköjakeluverkkoon. [1, s. 133.]

Invertterissä oleva säätöyksikkö mittaa maksimitehopisteen, mikä säätää paneelien ulostulojännitettä toimimaan koko ajan maksimitehopisteessä. Aurinkosähköpaneelin ominaiskäyrän takia paras energiatuotto tapahtuu juuri maksimitehopisteessä (MPPT). [1, s. 133.]

Mikroinvertterin ideana on, että jokaisella aurinkopaneelilla on oma invertterinsä. Aurinkopaneeleissa syntyvä tasavirta muutetaan siis vaihtovirraksi heti paneelien läheisyydessä. Mikroinvertterissä etuna on halvemman kaapeloinnin käyttömahdollisuus ja sillä voidaan saada yksityiskohtaista tietoa joka paneelistä. Haittapuolena mikroinvertterissä on sen vaatimus laitteelle, joka huolehtii järjestelmän saarekesuojauksen. [5.]

Off-grid-invertteriä käytetään yleensä nimensä mukaisesti järjestelmissä, jotka eivät ole kytkettyjä valtakunnan verkkoon. Off-grid-invertteri pystyy muuttamaan sähkön AC-DC ja DC-AC-muotoon ja se voi myös ladata ja ylläpitää järjestelmässä olevia akkuja. [5.]

String-invertteri on tällä hetkellä todella suosittu sen edullisuuden, luotettavuuden ja korkean hyötysuhteen takia. Ne myös sopivat sekä pieniin että suuriin aurinkosähköjärjestelmiin. [5.]

Keskusinverttereitä käytetään suurissa kohteissa, sillä niiden teho on 50 kV–1 MW välillä. Ne ovat maahan asennettavia, kookkaita sekä kalliita investoita. [5.]

### 3.5 Kaksisuuntainen mittari

Invertterin lisäksi tarvitaan myös kaksisuuntainen mittari. Mittarin tarkoituksena on mitata verkon ja talon syöttämä ja ottama sähkö. Vaihtosähkösuuntaajan avulla osa sähkönkulutuksesta voidaan ottaa aurinkosähköjärjestelmästä ja osa sähköverkosta. [1, s. 134.]

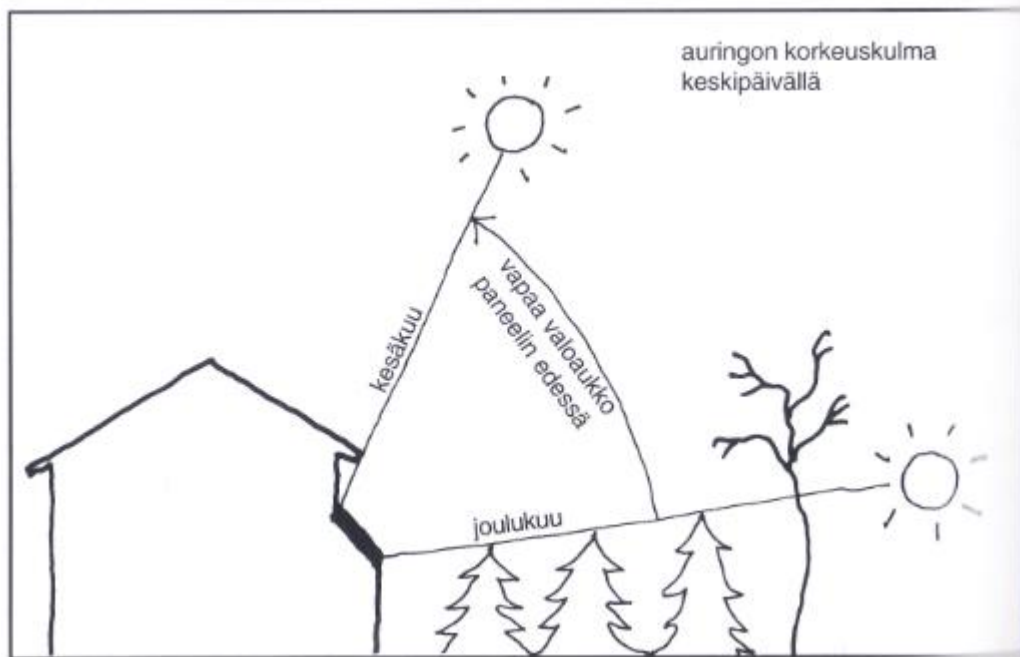
## 4 Aurinkojärjestelmän suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmän asennus on kohtuullisen yksinkertainen, mutta optimaalisesti toimivassa järjestelmässä tulee ottaa huomioon monia seikkoja. Suunnittelussa tulee miettiä, kuinka suuri kulutus kohteessa on ja mihin vuodenaikaan kulutusta on eniten. Esimerkiksi omakotitaloon ei kannata asentaa aurinkosähköjärjestelmää, jos viettää kesät kesämökillä ja täten aurinkoenergiaa ei olla hyödyntämässä silloin kun sitä on eniten tarjolla. Täytyy myös miettiä riittääkö aurinkoenergiaa tarpeeksi, jotta takaisinmaksuaika olisi kohtuullinen ja varmistaa, että aurinkopaneelit saa sijoitettua riittävän hyvään ilmansuuntaan ja kulmaan.

### 4.1 Paneelien sijoittaminen

Aurinkopaneeli tulisi suunnata etelään päin parhaan sähkötehon saamisen takia, mutta tilannekohtaisesti myös kaakko–lounas-väliltä saadaan kohtuullinen sähköntuotto. Lisäksi esimerkiksi puun tai rakennuksen varjo ei saa osua aurinkopaneeliin, koska se vaikuttaa merkittävästi paneelin tuottoon. Suomen oloihin sopivimpana kallistuskulmana pidetään 30–90 asteen kulmaa vuodenajasta riippuen. Jos aurinkopaneeleja ei säädetä, on 45 asteen kulma paras maksimoimaan vuotuisen sähköntuotannon. Kesäaikaan 30 asteen kallistuskulma on paras, sillä aurinko paistaa korkealta ja aurinko nousee aikaisin ja laskee myöhään. Talvella 75–90 asteen kallistuskulma antaa parhaan sähköntuotannon,

sillä aurinko paistaa matalalta. Sähköntuotantoa haittaavien pölyn, lian ja lumen takia alle 15 asteen kallistuskulmaa tulee välttää. [1, s. 145.]



Kuva 5. Aurinkopaneelien sijoitus [1].

## 4.2 Kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmää kytkettäessä mitoitettavia asioita ovat kaapelityypit ja niiden poikkipinta-ala. Koska asennuksia tehdään ulkoilmaan, yleisimmin katoille, niiden täytyy kestää vaihtelevat sääolosuhteet. Kaapelit täytyy myös mitoitaa oikein virran suhteen, jotta asennuksesta tulee taloudellinen ja silti myös riittävä, jotta järjestelmä voi toimia oikein. [8.]

Tehohäviön pitäisi olla alle 10 %, jotta kaapelit eivät söisi liikaa järjestelmän kokonaistehoa. Kaapelin mitoitus tasasähköpuolella tapahtuu sähkötekniikan kaavojen avulla. Kun tiedetään jännite ( $U$ ), johtimen pituus ( $l$ ), johtimen poikkipinta-ala ( $A$ ) ja kaapelin resistiivisyys ( $\rho$ ), voidaan määrittää kaapelin vastus  $R$  kaavan 2 avulla.

$$R = \rho \cdot l / A \quad (2)$$

Tämän jälkeen voidaan määrittää matkalla syntyvä tehohäviö kaavan 3 avulla.

$$P=U^2/R. [1] \tag{3}$$

missä

$R$  = Kaapelin vastus

$U$  = Jännite

$l$  = Johtimen pituus

$A$  = Johtimen poikkipinta-ala

$\rho$  = Kaapelin resistiivisyys

$P$  = Kaapelin teho

Aurinkosähköjärjestelmää sähköjakeluverkkoon asentaessa tulee ottaa huomioon, että liitântakeskuksessa on tilaa kaapeloinnille ja ylivirtasuojaukselle. Aurinkosähköjärjestelmän liitântärasiat tulee varustaa varoituskilvillä, jotka kertovat, että rasian sisäpuoliset osat voivat olla vielä jännitteisiä erotuslaitteen avaamisen jälkeen. Standardin 661.7 mukaan järjestelmään liitetyt muut laitteet eivät saa aiheuttaa häiriöitä sähköjakeluverkkoon, joten jos järjestelmässä toimii esimerkiksi generaattori, se on tarvittaessa tahdistettava verkkoon. Yleensä aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaaja hoitaa tahdistamisen. Tarkemmat ohjeet suojalaitteiden vaatimuksista antaa jakeluverkon haltija. Verkkoon syötetyn sähkön tulee myös täyttää standardin SFS-EN 50160 vaatimukset. [8.]

## **5 Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähköjakeluverkkoon**

Tässä luvussa käsitellään lähinnä asennuksen ja suojauksen vaatimuksia, kun järjestelmä liitetään sähköjakeluverkkoon. Sähköverkon sähkön tuottamiseen liittyviä lakeja ja standardeja käsitellään luvussa 6.

Ennen kuin sähköä tuottavan aurinkosähkölaitoksen voi liittää sähköjakeluverkkoon, täytyy voimalaitoksen täyttää vaatimukset ja tuottajalla olla sähkön ostaja verkkoon syöttämälleen sähkölle. Tuotantolaitoksen kytkemiselle täytyy olla ensin lupa kytkeytyä sähköjakeluverkkoon ja verkonhaltijan kanssa täytyy olla tuotantosopimus. Verkonhaltijan on liitettävä tuotantolaitos verkkoonsa kohtuullista korvausta vastaan. Enintään kahden megavolttiampeerin voimalaitoksen liittymismaksun hinnoittelu perustuu jakeluverkon laajennuskustannuksiin. Verkonhaltija ei saa veloittaa verkon vahvistuskuluja verkkoon liittyjältä, mutta saa periä korvauksen mahdollisista verkon lisäsuojauksista. [3.]

Aurinkosähköjärjestelmässä vaihtosuuntaaja tulee kytkeä yksi- tai kolmivaiheisesti rakennuksen sähköpääkeskukseen. Yleistettynä pienet alle 3,7 kW:n järjestelmät kytketään yksivaiheisesti ja sitä isommat kolmivaiheisesti. Isoimmissa kohteissa vaihtosuuntaajia on käytössä useampi, koska on taloudellisesti kannattavampaa ostaa useampi pienempi kuin yksi iso vaihtosuuntaaja. Toinen useamman vaihtosuuntaajaan menetelmässä oleva etu on, että vikatilanteissa osa järjestelmästä voidaan pitää päällä. Vaihtosuuntaajat suositellaan asentamaan yleensä keskuksen läheisyyteen, jolloin kaapelointikustannukset ovat pienemmät. Vaihtosuuntaajat tulee varustaa ylivirtasuojauksella ja se täytyy pystyä erottamaan tasa- ja vaihtosähköosasta standardin SFS 6000-7-712 mukaisesti. [8.]

Aurinkosähköjärjestelmä on verkkoon liitettäessä varustettava ylivirtasuojilla. Vaikka aurinkopaneelit eivät tuota kovin suurta virtaa, voi esimerkiksi salaman isku aiheuttaa suuren virtapiikin. Standardin SFS 6000-7-712 mukaan: "Tasasähköpuolelta yhden jännitteisen johtimen maadoittaminen on sallittua, jos vaihto- ja tasasähköpuolen välillä on vähintään yksinkertainen erotus." [8] On otettava myös huomioon, että potentiaalierotusjohtimia asennettaessa on huolehdittava, että ne ovat tasa- ja vaihtosähkökaapeleiden rinnalla sekä mahdollisimman lähellä niitä. [8.]



## 5.1 Tasasähköosan suojaus

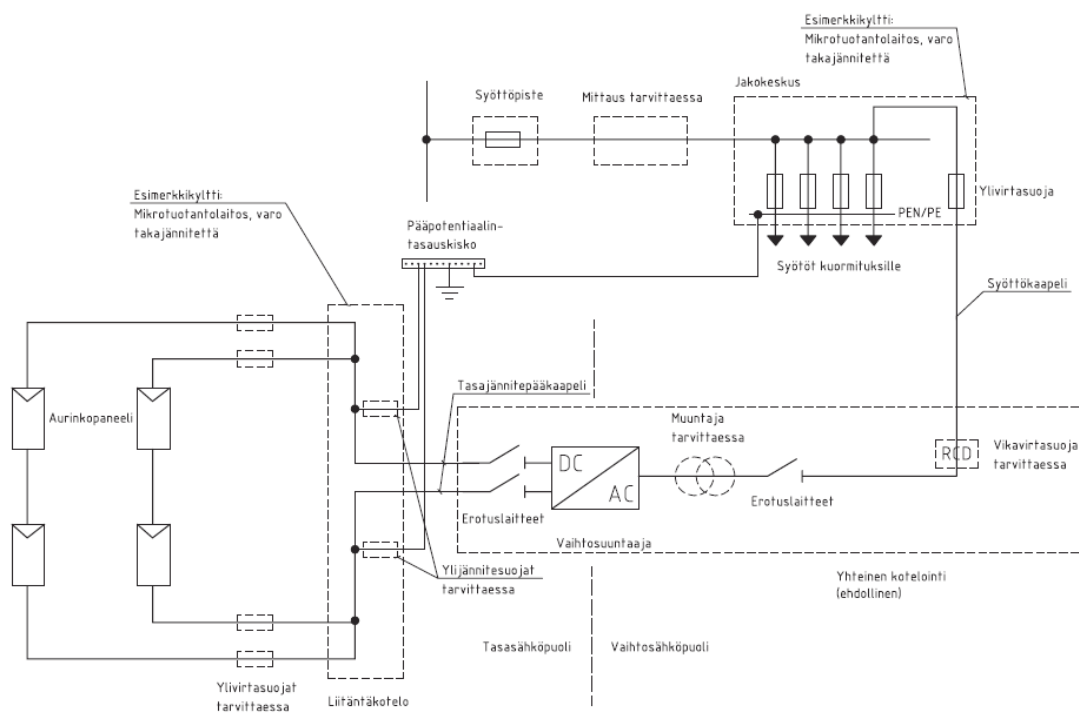
Aurinkosähköjärjestelmän suojaus tasasähköosassa, eli aurinkopaneelipuolelle ennen vaihtosähkösuuntaajaa, tulee standardin 6000-7-712 mukaan suojata suosituksen mukaisesti luokan II-laitteilla. Standardin mukaan paneeliketjukaapelit ja paneelistokaapelit ja tasajännitekaapeli voidaan jättää ilman ylikuormitussuojasta, jos kaapelien jatkuva kuormitettavuus on vähintään 1,25 kertaa oikosulkuvirta standardisoiduissa testiolosuhteissa. [8.]

## 5.2 Vaihtosähköosan suojaus

Vaihtosähköosan suojauksessa noudatetaan standardin SFS 6000 mukaisia säädöksiä: ”Vaihtosähkösuuntaajan rakennuksen sähkökeskukseen kytkävä kaapeli on liitettävä kulutuslaitteita syötön automaattisella poiskytkennällä suojaavan laitteen syöttöpuolelle.” [8] Järjestelmässä on myös oltava poiskytkennän suorittava B-tyyppiä oleva vikavirtasuojaa standardin EN 62423 mukaisesti, jos järjestelmä sisältää aurinkosähkösyötön ilman ainakin yksinkertaista erotusta tasa- ja vaihtosähköosien välillä. Jos vaihtosuuntaaja ei pysty syöttämään tasasähkövikavirtoja järjestelmään, ei B-tyypin vikavirtasuojaa vaadita. Järjestelmän syöttökaapeli on suojattava oikosululta vaihtosähköosan alkupisteeseen sijoitetulla ylivirtasuojalla. Taulukossa 1 on esitetty kahden eritehoisen paneelin yleisiä ominaisuuksia kuten oikosulkuvirta, tyypillinen virta ja jännite maksimiteholla, sekä yleiset mitat. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertainen esimerkki aurinkosähköjärjestelmästä. Kuvasta nähdään muun muassa vaadittavien suojien ja erotusten paikat sekä esitetään tarvittavat laitteet joita järjestelmään tarvitsee. [8.]

Taulukko 1. Esimerkki aurinkopaneelien teknisistä ominaisuuksista [8].

	Esimerkki 1	Esimerkki 2
Maksimiteho (W)	130	200
Tyypillinen virta maksimiteholla (A)	7,5	7,6
Tyypillinen jännite maksimiteholla (V)	17,3	26,2
Oikosulkuvirta (A)	8,1	8,2
Avoimen piirin jännite (V)	22,1	33,4
Mitat (pituus, leveys, paksuus; mm)	1480x670x34	1475x986x35
Massa	10,6	19,5
Kennojen lukumäärä	36	54



Kuva 6. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän kytkemisestä rakennuksen sähköverkkoon [8].

## 6 Standardit, lait ja määräykset

Tässä luvussa käsiteltävät standardit ja lait koskevat sähkön pientuottajaa. Sähkön pientuottajan rajana pidetään alle kahden megavolttiampeerin kokoisia

laitoksia. Kyseinen määritelmä perustuu sähkömarkkinalain määritelmään. Tätä suurempia voimalaitoksia koskevat yleisesti samat säädökset, lait ja määräykset kuin teollisuuden sähköntuottajia. [3.]

Sähkön tuottaminen on Suomessa vapaata liiketoimintaa ydinvoimaa lukuun ottamatta. Myös sähkön myyminen ja yleiseen sähköverkkoon liittyminen on kaikille avointa, kunhan täyttää viranomaisten ja jakeluverkonhaltijoiden voimalaitoksille asettamat vaatimukset. [3.]

## **6.1 Luvat**

Jos aurinkosähkön tuottaminen tapahtuu omakotitalossa, eikä suurta määrää paneeleja asenneta esimerkiksi tontille, ei rakennuslupaa tarvita. Jos järjestelmää ei ole vielä liitetty sähköverkkoon, tarvitaan lupa liittyä liittymispisteestä sähköntuotantopaikkaan sekä mahdollisesti maaomistajan lupa ja rakennuslain mukainen toimenpidelupa. [3.]

Jos kyseessä on yli yhden megavolttiampeerin suuruinen voimalaitos, on energiamarkkinavirastolle tehtävä ilmoitus voimalaitoksen rakentamisesta tai sen tehonkorotuksesta kuukauden kuluessa. Myös voimalaitoksen käyttöönotosta on tehtävä ilmoitus kuukauden kuluessa ja jos yli megavolttiampeerin suuruinen voimalaitos otetaan pois käytöstä, on siitä ilmoitettava vähintään kuusi kuukautta ennen poisottoa. Lisäksi suositellaan, että yli yhden megavolttiampeerin voimalaitoksien suunnittelijat ilmoittaisivat hankkeesta Fingridille. [3.]

Sähköntuottajan tulee maksaa veroa siitä sähkön osasta, jota hän käyttää muuhun kuin energian tuottamiseen. Valmisteveroa tai huoltovarmuusmaksua ei tarvitse maksaa siitä sähköstä, jonka sähköntuottaja luovuttaa verkkoon. Lisäksi valmisteveroa ja huoltovarmuusmaksua ei tarvitse maksaa, jos sähköä tuotetaan enintään 50 kilovolttiampeerin tehoisessa generaattorissa tai useilla, yhteensä enintään 50 kilovolttiampeerin nimellisteholla generaattoreissa. Valmisteveroa ja huoltovarmuusmaksua ei makseta myöskään, jos se tuotetaan alle

kahden megavolttiampeerin tehoisessa generaattorissa eikä sitä siirretä sähköverkkoon. [3.]

## 6.2 Vaatimukset

Sähköntuottajan on otettava huomioon sähköä siirrettäessä sähkönjakeluverkkoon myös sähkön laatu ja turvallisuus. Tuotantolaitos ei saa aiheuttaa verkkoon häiriötä, vaarantaa henkilöturvallisuutta tai aiheuttaa muiden sähkönkäyttäjien sähkölaitteiden rikkoutumista. Verkkoon liityttäessä täytyy selvittää verkon haltijan kanssa, että tuotantolaitos on teknisesti verkkoon sopiva ja että laitteisto on standardien mukainen. Enintään 50 kilovolttiampeerin voimalaitoksen tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle tiedot laitoksen tyypistä, nimellistehosta ja nimellisvirrasta. Lisäksi tuottajan täytyy toimittaa vaihtosuuntaajan tyyppitiedot, suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat sekä tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta. Tarkemmin sähkön laatu määritellään muun muassa standardissa SFS-EN-50160. Jos laitoksen tuottama sähkö ei täytä vaatimuksia ja siitä aiheutuu vahinkoja, on tuottaja vastuussa korvauksiin. Sähköntuottajan kannattaaakin varoa esimerkiksi yliaaltojen tuottamista verkkoon. Liian suuria yliaaltoja voi välttää esimerkiksi välttämällä tehoelektroniikan kytkemistä verkkoon. Tehoelektroniikkalaitteita ovat esimerkiksi taajuusmuuttajat, suuntaajat ja pehmo käynnistimet. [3.]

Voimalaitoksen perustamisen sähköturvallisuuteen liittyy myös, että laitoksesta vastuussa olevat henkilöt vastaavat laitteiston soveltuvuudesta ja siitä, että rakentajalla ja korjaajalla on oikeat pätevyydet. Heidän täytyy huolehtia myös, että lainmukaiset varmennus- ja määräaikaistarkastukset hoidetaan, tehdään kunnossapito-ohjelma sekä määrätään sähkölaitteiston käytönjohtaja. [3.]

Pienvoimalan relesuojauksia määritellessä pitää ottaa huomioon jakeluverkon vaatimukset ja periaatteet. Vian sattuessa pienvoimalaitoksen suoja-laitteiden pitää toimia ja laitoksen irrottautua verkosta, jolloin vika jää vain voimalaitokseen. Tällä vältetään koko verkon suojalaitteiden laukeaminen. [3.]

Tuottaja saa yleensä itse valita, mille jännitetasolle hän kytkee laitoksensa. Pienet tuotantolaitokset liitetään yleensä pienjänniteverkkoon, jolloin kytkeminen tapahtuu joko omaan liittymispisteeseen tai kulutuksen kanssa yhteisen liittymispisteen kanssa. Suuremmat voimalaitokset liitetään keskijänniteverkkoon (10 kV tai 20 kV). Tällöin voimalan maksimikoko määräytyy yleisen jakeluverkon oikosulkutehosta ja liittymispaikan etäisyydestä sähköasemaan. Yksi voimalan kokoa määräävä tekijä on verkon vikavirtataso. Uudet tuotantolaitokset lisäävät verkon vikavirtaa ja muuttavat vikavirtojen kulkureittejä. Kun olemassa oleva verkko kun on mitoitettu tietylle oikosulkukestoisuustasolle, uusien voimalaitosten aiheuttama muutos ei saa kasvattaa verkon oikosulkuvirtoja yli mitoitusarvojen. [3.]

Enintään 3 x 63 A pääsulakkeilla varustetulla sähkön tuotantopaikalla riittää, että tuottaja huolehtii verkosta otetun ja verkkoon syötetyn tuntienergian mittauksesta. Jos tuotantolaitos on sijoitettu yli 3 x 63 A käyttöpaikkaan, on tuotantolaitos varustettava omalla mittauksella, jonka avulla saadaan laskettua oman tuotannon kulutus. Omalla tuotannon kulutuksella tarkoitetaan sähköä, jonka voimalaitos on itse tuottanut ja sitä ei ole syötetty verkkoon, vaan se on käytetty kohteessa ja käytetty tuotantoon. Nykyään pienimuotoinen sähkötuotanto luetaan etämittauksen avulla. [3.]

### 6.3 RES-direktiivi

RES-direktiivi on EU:n parlamentin ja sen neuvoston laatima direktiivi, jonka tarkoituksena on vuoteen 2020 mennessä lisättävä uusiutuvan energian käyttöä EU:ssa 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta ja 10 prosenttiin liikenteen energian loppukulutuksesta. Suomelle on asetettu omat kansalliset tavoitteet, joiden mukaan Suomi tavoittelee uusiutuville energialähteille 38 prosentin osuutta loppukulutuksesta ja liikenteen energian loppukulutuksessa 20 prosenttia. RES-direktiiviksi kutsuttu direktiivi perustuu Uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistäminen -direktiiviin (2009/28/EY). [6.]

## 6.4 Aurinkosähköasentajan sertifiointi

Aurinkosähköasentajan sertifiointi on vapaaehtoinen koulutus, joka on tarkoitettu aurinkolämpö- ja aurinkosähkö-, biolämpö-, lämpöpumppu- ja pellettiasentajille. Kolmipäiväisen koulutuksen tarkoituksena on tarjota sähköurakoitsijalle paketti, johon on kerätty yhteen keskeiset asiat aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden liittämisestä sähköverkkoon. Koulutuksen aikana kerrotaan yleiskatsaus aurinkosähköstä ja sen hyödyntämismahdollisuuksista Suomessa. Lisäksi saadaan tietoa järjestelmien kannattavuudesta ja takaisinmaksuajoista sekä niiden merkityksestä uudisrakentamisessa. Koulutukseen kuuluu myös harjoitus pienen aurinkosähköjärjestelmän asentamisesta. Aurinkosähköasentajan sertifiointikoulutuksen toteuttaminen on osa RES-direktiiviä, jonka tavoitteena on pyrkiä lisäämään ja tehostamaan uusiutuvan energian käyttöä Euroopan unionin jäsenmaissa. Sertifiointin toteuttamista ja koulutusta valvoo uusiutuvan energian toimikunta. [7.]

Sertifiointiin saadakseen sähköalan ammattilaisen tulee suorittaa koulutus hyväksytysti ja hänen täytyy esittää yhden aurinkosähköasennuskohteen käyttöönottopöytäkirjat, jota hän on ollut itse toteuttamassa. Osallistujalla täytyy olla voimassa työturvallisuuskortti, sähkötyöturvallisuuskoulutus, ensiapukoulutus ja tulityökortti. [7.]

## 7 Kannattavuus ja takaisinmaksuaika

Tein omakotitaloon lisäenergian tuottamista varten suunnitellun avaimet käteen -ratkaisun takaisinmaksuajasta laskelman. Valitsin laskelmaan 12 paneelin off-grid-järjestelmän, jonka sähköntuoton huipputeho on 3 kWp.

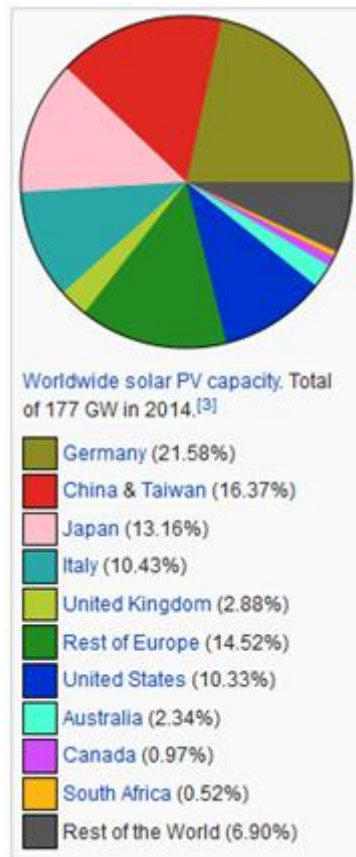
Aurinkojärjestelmäpaketti maksaa asennuksineen 8010 € sisältäen aurinkopaneelit, vaihtosuuntaajan, järjestelmän toimituksen, kattokiinnikkeet ja sähkötarvikkeet sekä asennuksen [14]. Aurinkopaneelien tuottaman energian arvioitu määrä on 2596 kWh vuodessa [14]. Jos sähkön hinta on veroinen ja siirtomaksuineen keskimäärin 15 snt/kWh, tuottaa järjestelmä vuodessa  $0,15 \text{ €} \cdot 2596$

kWh=384,4 € arvosta sähköä. Järjestelmän takaisinmaksuaika on täten 21 vuotta.

$$\frac{8010 \text{ €}}{384,4 \text{ €/v}} = 20,8 \text{ v} \approx 21 \text{ v.} \quad (4)$$

## 8 Tulevaisuuden näkymät

EU:n parlamentin ja sen neuvoston laatiman RES-direktiivin takia uusiutuvaa energiaa pyritään voimakkaasti lisäämään vuoteen 2020 mennessä. Tällöin uusiutuvan energian käyttö olisi EU:ssa 20 prosenttia energian loppukulutuksesta ja 10 prosenttia liikenteen energian loppukulutuksesta [6]. Monilla teollisuusmailla tämä tavoite on vielä korkeampi ja esimerkiksi Saksa tuottaa kesäisinä päivinä jopa puolet sähköstään auringon avulla [11]. Saksa olikin vuonna 2014 maailman suurin aurinkoenergian tuottaja 38,2 GW tuotannollaan [12]. Tuotantomäärä on suuri verrattuna siihen, että IFL Sciencen mukaan 90 prosenttia maailman väestöstä elää aurinkoisemmissa paikoissa kuin saksalaiset [11]. Koska Saksan valtio panostaa voimakkaasti uusiutuvaan energiaan ja työllistää sen avulla paljon ihmisiä, se todennäköisesti vauhdittaa aurinkosähkön kehittymistä ja täten johtaa muidenkin maiden aurinkoenergian lisäämiseen.



Kuva 7. Suurimmat aurinkosähkön tuottajamaat [12].

## 8.1 Tulevaisuus Suomessa

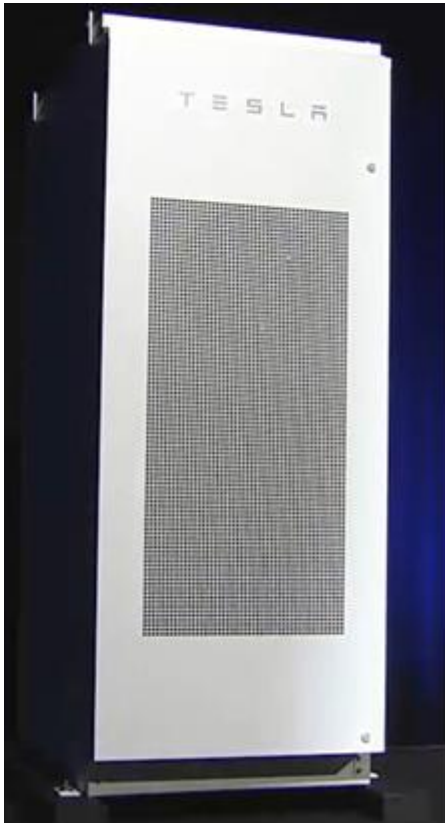
Suomessa auringolla tuotetun sähkön määrä on vielä pieni, vaikka etenkin Etelä-Suomessa aurinkosähkön tuottamisen edellytykset ovatkin samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Saksassa aurinkoenergian tuottaminen onkin todella suosittua johtuen syöttötariffeista ja Saksan panostuksesta uusiutuvaan energiaan samalla kun se yrittää vähentää ydinvoiman käyttöä. Suomessa aurinkoenergian hitaalle yleistymiselle ovat syynä auringon syöttötariffin puuttuminen sekä edullinen tuontisähkö Norjasta ja Ruotsista. Tulevaisuus aurinkosähkön tuottamiselle Suomessa on kuitenkin positiivinen, sillä Suomi on sitoutunut lisäämään uusiutuvan energian loppukulutusta 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä [6]. Kehitystä edistää myös uudisrakentavien kotitalouksien pyrkiminen kohti nollaenergiatasoa, jossa osa talouden energiasta pyritään tuottamaan itse esimerkiksi aurinkoenergian avulla [10]. Aurinkosähkön käyttöä pienkoh-



teissa edistää myös verotus, sillä alle 50 kVA:n tuotantolaitokset on vapautettu sähköverosta eikä heidän tarvitse maksaa myöskään siirtomaksuja [13].

## 8.2 Innovaatiot

Aurinkosähkön yleistymiseen vaikuttavat myös uudet innovaatiot ja niiden markkinointi tavallisille kuluttajille. Vaikka akkuihin varastoitu energia on ollut olemassa jo pitkään, uusia yrityksiä saada se yleistymään tulee markkinoille. Yhdysvaltalainen yhtiö Tesla Energy on juuri julkaissut aurinkosähkön varastointiin tarkoitetun Powerwall-nimisen litium-ioniakun kotitalouksille ja yrityksille. Akun tarkoituksena on vähentää aurinkopaneelilla tuotetun sähkön myymistä sähköyhtiöille ja kehottaa loppukäyttäjiä käyttämään tuottamansa sähkö silloin kun aurinkopaneelit eivät tuota sähköä. Ideana on, että säästöä saataisiin kun loppukäyttäjän ei tarvitsisi ostaa kallista sähköä aamuisin ja iltaisin. Mahdollista olisi myös halvan yösähkön ostaminen varastoon. Tesla tarjoaa 7 kWh:n akkua noin 2700 euron ja 10 kWh:n noin 3100 euron hintaan [9]. Teslan kehittämät akut ovat kohtuullisen kookkaita, sillä esimerkiksi energiayhtiö Vattenfallin vertailutaulukon mukaan 150–200 litran jääkaappi kuluttaa vuorokaudessa 0,3–0,8 kilowattituntia ja liedon levy kuluttaa tunnissa 0,5–1,0 kilowattituntia [9]. Teslan paketti on hinnaltaan kallis verrattuna esimerkiksi lyijyakkuihin. Teslan etuna on valmiiksi mitoitettu tuote asennettavaksi. Myös brändi ja kompakti koko (Korkeus 1300 mm Leveys 860 mm Syvyys 180 mm) ovat Teslan tuotteen myyntivalteja. Varastoivissa akuissa huolettua usein niiden käyttöikä eikä Teslakaan mainitse heidän akkujensa käyttöikää, joten takaisinmaksuaikaa on vaikea ennustaa.



Kuva 8. Tesla Energyn powerwall-akku.

## 9 Yhteenveto ja pohdinta

Vaikka aurinkoenergiaa ei voida vielä pitää taloudellisesti kovinkaan kannattavana energiantuottomuotona Suomessa, on se esimerkiksi kesämökeille hyvä ja ympäristöystävällinen sähköntuotantomenetelmä. Suomen valtio on sitoutunut lisäämään uusiutuvaa energiaa, mutta se ei tunnu olevan tällä hetkellä kovinkaan innostunut tukemaan aurinkosähköä. Uskon kuitenkin, että aurinkosähköäkin tuetaan tulevaisuudessa enemmän. Loistava keino kannustaa aurinkosähkön investointeihin olisi valtion myöntämät tariffit aurinkosähkön tuottamiselle. Investointeja voisi lisätä myös aurinkoenergiaa koskevien myyttien purkaminen. Suomalaiset tuntuvat uskovan, että Suomessa ei paista tarpeeksi aurinkoa, mikä ei kuitenkaan pidä paikkansa. Innostusta voitaisiin ottaa esimerkiksi Saksasta, jossa auringolla tuotetaan energiaa eniten maailmassa.

Aurinkosähkön tuottaminen sähkömarkkinoille on tällä hetkellä pientä. Sähkön tuottaminen on monimutkainen prosessi, joka vaatii monia lupia ja suurehkoja panostuksia. Tällä voidaan taata sähkön laatu kuluttajille. On mielenkiintoista nähdä, kuinka ennustetut sähkön hinnan nousut tulevat vaikuttamaan aurinkosähköntuotantoon.

Vaikka teknologia kehittyy ja hinnat mahdollisesti tippuvat, ei tavallisen, aurinkosähköä harkitsevan kuluttajan kannata jäädä odottelemaan vaan hänen kannattaa investoida jo nyt aurinkosähköön, sillä merkittäviä innovaatioita ei ole näköpiirissä. Ennemminkin kannattaisi panostaa hyvään ja perusteelliseen suunnitteluun, laadukkaisiin komponentteihin ja oikeaoppiseen toteutukseen, jonka avulla hinta-teho-suhde saadaan paremmaksi.

Opinnäytetyötä voisi jatkossa kehittää lisäämällä jonkin kohteen suunnittelun teorian oheen. Kohteen suunnittelussa voisi perehtyä tarvittavien laskelmien tekemiseen, miettiä suojauksia, sekä piirtää CAD-kuvat.

## Lähteet

1. Erat, B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. Aurinko-opas. Porvoo: Painoyhtymä Oy. 208s. ISBN 978-952-92-2721-1.
2. Ground Energy. Aurinkoenergia Suomessa. 2015. Saatavissa: <http://www.groundenergy.fi/aurinkoenergia2/>. 18.2.2015.
3. MOTIVA. Opas sähkön pientuottajalle 2012. 2014. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/5724/Opas\\_sahkon\\_pientuottajalle\\_2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf). 18.3.2015
4. Suntekno Oy. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. 2010. Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. 20.3.2015
5. Solar Power World. How To Choose The Right PV Power Inverter. 2010. Saatavissa: <http://www.solarpowerworldonline.com/2010/07/how-to-choose-the-right-pv-power-inverter/>. 30.4.2015
6. Energiamarkkinavirasto. Res-direktiivit. 2015. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/res-direktiivi>. 15.4.2015.
7. Sähköinfo Oy. Aurinkosähköasentajan sertifiointi. 2015. Saatavissa: [http://severi.sahkoinfo.fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/5690?search=aurinkos%  
c3%a4hk%c3%b6](http://severi.sahkoinfo.fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/5690?search=aurinkos%c3%a4hk%c3%b6). 15.4.2015.
8. Sähköinfo Oy. ST 55.33 Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. 2013. Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/3600?search=st+55.33>. 15.4.2015.
9. Fallon, P. Helsingin sanomat. Autoyhtiö Tesla ryhtyy edistämään kotien aurinkosähköistämistä. 2015. Saatavissa: [http://www.hs.fi/talous/a1430444339384?jako=fb597cf91ed8f51ee014bef29  
5bedec0](http://www.hs.fi/talous/a1430444339384?jako=fb597cf91ed8f51ee014bef295bedec0). 2.5.2015
10. ABB. Aurinkosähköisempi tulevaisuus. 2013. Saatavissa: <http://www.abb-conversations.com/fi/2013/09/aurinkosahkoisempi-tulevaisuus/>. 20.3.2015
11. Rehle, M. Taloussanomat. Saksan sähköstä jo puolet tuotettiin aurinkoenergialla. 2014. Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/ymparisto/2014/06/26/saksan-sahkosta-jo-puolet-tuotettiin-aurinkoenergialla/20148948/12>. 30.4.2015.

12. Wikipedia, vapaa tietosanakirja. Solar power by country. 2015. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power\\_by\\_country](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country). 30.4.2015
13. Ihonen, J. Aurinkosähkön tulevaisuus Espoossa ja Suomessa. 2015. Saatavissa: <http://www.jariihonen.fi/vahahiilinen-espoo/aurinkosahkon-tulevaisuus-espoossa-ja-suomessa/> 30.4.2015
14. Fortum Oy. Aurinkopaketin hinnasto. 2015. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinko-energiaratkaisut/aurinkopaneeli/hinta/pages/default.aspx>. 20.4.2015
15. Isojunni, V. Aurinkosähkölaitteiston suunnittelu. Opinnäytetyö. 2014. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/74844>. 13.4.2015